

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

В. М. Бондар, Б. Ю. Лещенко

ЯДЕРНА ТА НЕЙТРОННА ФІЗИКА

Домашня контрольна робота

*Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для студентів,
які навчаються за спеціальністю 143 «Атомна енергетика»»,
спеціалізацією «Атомні електричні станції»*

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2018

Рецензент: *Горбаченко О. М.*, канд. фіз.-мат. наук.,
Завідувач НДЛ «Ядерної спектроскопії» кафедри ядерної фізики, фізичного факультету
Київського національного університету імені Тараса Шевченка

Відповідальний
редактор *Лебедь Н. Л.*, канд. техн. наук, доцент

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол № 7 від 29.03.2018 р.)
за поданням Вченої ради ТЕФ (протокол № 6 від 05.02.2018 р.)*

Електронне мережне навчальне видання

Бондар Віра Михайлівна, канд. фіз.-мат. наук., ст.. викладач.
Лещенко Борис Юхимович, канд. фіз.-мат. наук, доц.

ЯДЕРНА ТА НЕЙТРОННА ФІЗИКА ДОМАШНЯ КОНТРОЛЬНА РОБОТА

Ядерна та нейтронна фізика: Домашня контрольна робота [Електронний ресурс]
: навч. посіб. для студ. спеціальності 143 «Атомна енергетика», спеціалізації
«Атомні електричні станції» / В. М. Бондар, Б. Ю. Лещенко ; КПІ ім. Ігоря
Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 0,14 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря
Сікорського, 2018. – 14 с.

Посібник розроблений на підставі робочої програми кредитного модуля «Ядерна та нейтронна фізика» та призначений для якісної організації самостійного виконання студентами завдань домашньої контрольної роботи при вивченні кредитного модуля, підвищення свідомості студентів у навчанні і поліпшення результатів навчання.

Авторами пропонується 25 задач для самостійного розв'язування та оформлення у вигляді домашньої контрольної роботи. Подається приклад розв'язування задач, оформлення звіту та здачі (захисту) самостійно виконаної домашньої контрольної роботи.

Призначений для студентів, які навчаються за освітньою програмою підготовки бакалаврів за спеціальністю 143 «Атомна енергетика».

© В. М. Бондар, Б. Ю. Лещенко, 2018

© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018

Зміст

1	Вступ.....	4
2	Задачі на домашню контрольну роботу.....	5
3	Правила оформлення домашньої контрольної роботи.....	7
4	Правила захисту домашньої контрольної роботи.....	10
5	Розподіл навчального часу за видами занять і завдань з дисципліни та система оцінки успішності студента	11
6	Література.....	14

ВСТУП

Розуміння структури атомного ядра, його властивостей та основних ядерно-фізичних процесів, що з ним відбуваються, є обов'язковою умовою успішного вивчення та засвоєння базових дисциплін для студентів технічних вузів, майбутня професійна діяльність яких пов'язана із безпосереднім або непрямим контактом з ядерним випромінюванням. При цьому надзвичайно важливим є розуміння студентом особливостей взаємодії такого випромінювання з конструкційними матеріалами технічного обладнання, біологічними тканинами, а також вміння оперативно використовувати свої знання для оцінки характеристик впливу йонізуючого випромінювання в реальних ситуаціях. Аби виробити такі вміння, закріпити їх та вільно використовувати набуті знання, необхідно розв'язувати задачі по оцінкам характеристик взаємодії випромінювання з речовиною.

У даній роботі пропонуються задачі, створені на основі умов, максимально наближених до реальних. Це вимагає творчого підходу до розв'язання таких задач, вміння вибирати необхідні дані, або знаходити їх у довідниках, що привчає самостійно користуватися підручниками, довідниками та іншими джерелами інформації. Інколи шляхів розв'язку може бути декілька, у таких випадках необхідно проаналізувати кожен із них та вибрати найбільш оптимальний. Деякі задачі якісні, тому для їх розв'язання необхідне введення додаткових умов, фізичних величин, обмежень. По суті, це вже самостійне наукове дослідження студента, його вміння орієнтуватися в реальних ситуаціях. Вміння розв'язувати запропоновані задачі є важливим для подальшого вивчення таких дисциплін, як «Дозиметрія та захист від випромінювання», а також «Теорія ядерних реакторів». При цьому для їх вирішення важливо володіти глибокими знаннями з дисциплін «Фізика», «Вища математика» та «Математичні методи та моделі».

Успіху можна досягти тільки на шляху пізнання: знати-уміти-творити. Не зупиняйтесь на першому етапі пізнання. Задачі вам допоможуть у цьому.

ЗАДАЧІ НА ДОМАШНІЮ КОНТРОЛЬНУ РОБОТУ

№1. Із дослідів Резерфорда по розсіянню α -частинок золотом (1911 р.) оцінити розмір ядра.

№2. В якому діапазоні змінюється частота генератора високочастотного поля при стабілізації методом ЯМР магнітного поля масс-спектрометра в діапазоні 5–15 кілоггаусс (0,5–1,5 Тл). Як датчик використовується дистильована вода.

№3. Розмір ядра можна визначити з аналізу експериментів по розсіянню нейтронів. Оцінити мінімальну енергію нейтронів, необхідну для наших цілей.

№4. Вирахувати активність 1 г радію. Вибрати ізотоп з найменшою активністю.

№5. Знаючи енергії зв'язку для ядер, визначити питому енергію зв'язку нуклона в ядрі ${}^7\text{N}^{13}$, а також енергію відділення нейтрона, енергію відділення протона і енергію приєднання протона для цього ж ядра.

№6. Намалювати розташування одночастинкових енергетичних рівнів в узагальненій моделі ядра для нуклонів з орбітальним моментом 2, якщо ядро витягнуте. Вказати максимальну кількість нуклонів, що можуть знаходитись на кожному рівні, та парність рівнів.

№7. Реакції синтезу ізотопів водню при енергіях частинок в кілька десятків кілоелектроновольт часто використовуються як джерела нейтронів. Вирахувати енергію нейтронів у реакції дейтерію з дейтерієм.

№8. Реакції синтезу ізотопів водню при енергіях частинок в кілька десятків кілоелектроновольт часто використовуються як джерела нейтронів. Вирахувати енергію нейтронів у реакції дейтерію з тритієм.

№9. Золото можна отримувати шляхом ядерних перетворень із інших хімічних елементів. Найшвидше цього можна досягнути на пучку нейтронів ядерного реактора, де щільність потоку на виході горизонтальних каналів досягає величини 10^{14} нейтр./ $(\text{см}^2 \cdot \text{с})$. Для теплових нейтронів найбільший переріз має реакція (n, γ) . Вважати середнє значення перерізу рівним 3000 барн. Виходячи з цього, підберіть вихідний хімічний елемент, що найкраще підходить для отримання стабільного ізотопу золота. Вирахувати кількість

золота отриманого після неперервного опромінення протягом 1 години 1 кг вихідного матеріалу в потоці реакторних нейтронів. Вартість опромінення на реакторному пучку – 30 доларів/год. Оцінити вартість золота, отриманого таким способом.

№10. Визначити максимальну енергію нейтрино ν_e при розпаді нейтрона.

№11. Написати схему розпаду тритію і визначити енергію, що при цьому виділилась.

№12. Визначити енергію нейтрино при К-захваті в ^{22}Na , якщо β -розпад іде через рівень 1,2745 MeV дочірнього ядра.

№13. Визначити максимальну енергію позитронів при розпаді ^{22}Na , якщо відомо, що при цьому випромінюються γ -кванти з енергією 1,2745 MeV.

№14. Визначити енергію нейтрино при розпаді ^{37}Ar . Як експериментально можна зареєструвати розпад аргону?

№15. Зразкове α -джерело ^{226}Ra випромінює α -частинки різних енергій. Використовуючи значення енергії зв'язку ядер, вирахувати енергії цих α -частинок.

№16. При розпаді ^{137}I з енергією β -розпаду $Q_\beta=1,0$ MeV (імовірність 0,06) виникають нейтрони. Знайти енергію цих нейтронів та час їх затримки.

№17. При розпаді ^{87}Br з енергією β -розпаду $Q_\beta=2,29$ MeV (імовірність 0,06) виникають нейтрони. Знайти енергію цих нейтронів та час їх затримки.

№18. При взаємодії космічного випромінення з атмосферою Землі виникає радіоактивний ізотоп ^{14}C , який часто використовується для визначення віку археологічних знахідок. Напишіть ядерну реакцію утворення цього ізотопу. Оцініть вік археологічного предмету органічного походження, якщо відомо, що його активність по ізотопу ^{14}C зменшилася вдвічі в порівнянні з рівноважною концентрацією ізотопу ^{14}C , рівною 15 розпадам за хвилину на 1г вуглецю органічного походження.

№19. На відстані 1м потужність експозиційної дози точкового радіоактивного препарату в 5 разів перевищує рівень природнього фону. На якій відстані дозиметр покаже граничну допустиму дозу?

№20. Гама-кванти месбауеровського джерела ^{57}Fe рухаються вертикально вгору. Яку частку власної ширини лінії складає зміщення енергії на висоті 100 м ?

№21. Пояснити наданий швидкісний спектр Месбауера, визначити градієнт електричного поля та час життя збудженого стану.

№22. Пояснити наданий швидкісний спектр Месбауера, визначити магнітний момент та час життя збудженого стану.

№23. Розшифрувати наданий швидкісний спектр Месбауера та визначити магнітне поле, в якому знаходились ядра ^{57}Fe і час життя збудженого стану.

№24. З якою швидкістю і в якому напрямку відносно детектора необхідно переміщувати джерело γ -квантів, щоб спостерігати резонансне поглинання γ -квантів ядрами ^{57}Fe , якщо зразок знаходиться при температурі вище температури Дебая ?

№25. У досліді з прямою реєстрацією реакторних антинейтрино сцинтиляційними детекторами було зареєстровано 3 імп./год. від мішені об'ємом 200 л води з добавкою розчиненої солі кадмію. Написати реакцію та оцінити її поперечний переріз.

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕННЯ ДОМАШНЬОЇ КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ

Домашня контрольна робота має складатися з титульного листа, короткого вступу, що містить базові теоретичні відомості з розділів дисципліни «Ядерна та нейтронна фізика», необхідних для розв'язку задач, основної частини, що містить безпосередньо опис задач та хід їх виконання, а також висновків. Зокрема, зразок титульного листа домашньої контрольної роботи наведено нижче.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Теплоенергетичний факультет
Кафедра атомних електричних станцій і інженерної теплофізики

Домашня контрольна робота
З дисципліни «Ядерна та нейтронна фізика»

Виконав студент групи _____ ПІБ
Перевірів _____ Бондар В.М.

Основна частина роботи має містити:

- опис вихідних даних;
- послідовне викладення теоретичного підходу розв'язання;
- опис фізичного процесу, що розглядається;
- наглядні схеми та графіки фізичних величин, які досліджуються (якщо потребується);
- опис безпосередніх розрахунків;
- фізичний аналіз отриманих результатів.

Приклад оформлення основної частини домашньої контрольної роботи наведено нижче для однієї із задач.

Задача: Гама-кванти з енергією 14,4 кеВ месбауеровського джерела ^{57}Fe рухаються вертикально вгору. Розрахувати зміщення енергії гама- квантів на висоті 100 м.

Відповідь:

Ефект Мессбауера – окремий випадок резонансного поглинання гамма-квантів ядром, який реалізується тільки за умови, що ядра, які випромінюють гамма-кванти, ідентичні ядрам, що поглинають гамма-кванти. Крім того, ці ядра повинні входити в структуру речовини, що знаходиться при температурі нижчій від температури Дебая θ_D . За таких умов ядра (атоми речовини) зафіксовані (“заморожені”), наприклад, у вузлах кристалічної ґратки і при вильоті із ядра гамма-кванти “відштовхуються” не від ядра, а від всього кристалу. Енергія гамма-кванта практично дорівнює енергії гамма-переходу, що забезпечує реалізацію резонансного поглинання цих гамма-квантів ядрами, що знаходяться в ідентичних умовах. Якщо речовини випромінювача (Мессбауерівське джерело) і поглинача структурно відрізняються, то положення енергетичних рівнів теж дещо зміщуються. Цю різницю (ізомерний зсув) можна зкомпенсувати ефектом Доплера, рухаючи з необхідною

швидкістю джерело відносно поглинач. Винятково мала ширина ліній Мессбауера $\Gamma = \hbar / \tau \approx (10^{-5} \div 10^{-10} \text{ eV})$ дозволяє вимірювати малі зміщення (зсуви) енергії, що складають долі Γ (до 1% від природної ширини Γ). Ефект Мессбауера широко використовується для вимірювання магнітних та квадрупольних моментів ядер в основному та збудженому станах для задач фізики та хімії твердого тіла та ін.

Енергія гама- квантів на висоті 100 м зменшується на величину:

$$\Delta E = -mgh = -\frac{E_\gamma}{c^2} gh = -\frac{14,4 \text{ keV} \cdot 9,8 \frac{\text{M}}{\text{с}^2} \cdot 100 \text{ м}}{(3 \cdot 10^8 \text{ м/с})^2} = -15,7 \cdot 10^{-11} \text{ eV}.$$

З цього можна зробити висновок, що дане зміщення енергії складає невелику долю від власної ширини γ -піку Γ , а саме 3,36%.

Тут $\Gamma = \hbar / \tau$, $\tau = T / \ln 2$.

Всі додаткові матеріали та довідкові значення вхідних параметрів фізичних величин, необхідних для розв'язання запропонованих задач, наведено у [1-6].

ПРАВИЛА ЗАХИСТУ ДОМАШНЬОЇ КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ

Захист оформлених задач відбувається у декілька етапів.

ПЕРШИЙ ЕТАП:

- перевірка наявності оформлених розв'язків задач відповідно до обов'язкових пунктів, вказаних у описі оформлення.

ДРУГИЙ ЕТАП:

- перевірка засвоєння відповідного лекційного матеріалу за тематикою даної задачі;
- перевірка розуміння фізичного процесу, що розглядається;
- пояснення використаних схем та графіків;
- пояснення ходу вирішення задачі та отримання кінцевого результату;
- фізичний аналіз розв'язку.

Розподіл навчального часу за видами занять і завдань з дисципліни та система оцінки успішності студента

ПОЛОЖЕННЯ

**ПРО РЕЙТИНГОВУ СИСТЕМУ ОЦІНКИ УСПІШНОСТІ СТУДЕНТІВ
З КРЕДИТНОГО МОДУЛЯ**

з кредитного модуля	П-06 „Ядерна та нейтронна фізика” (код та назва)
для студентів спеціальності (напряму)	1 “Атомна енергетика” (код)
спеціалізації	„ Атомні електричні станції ” (назва)
факультету	теплоенергетичного (назва)

Розподіл навчального часу за видами занять і завдань з дисципліни згідно з робочим навчальним планом:

Семестр/ код кредитного модуля	Навчальний час		Розподіл годин				Контрольні заходи		
	кредити	академічні годин	Лекції	Практичні заняття	Лабораторні роботи	СРС	МКР	Вид індивідуального завдання	Семестрова атестація
5/П-06	6	180	36	18	18	108	-	ДКР	екзамен

Система оцінки успішності за видами занять і завдань з кредитного модуля згідно з робочою навчальною програмою:

	кількість	бали		сума балів
Практичні заняття+СРС	9	робота на занятті	1x9=9	27
		домашні завдання	2x9=18	
Лабораторні роботи	6	виконання та захист	3x6=18	18
ДКР	1			15
Сума вагових балів контрольних заходів				60

Шкала балів за відповідні рівні оцінювання з кожного виду контролю.

1. Практичне заняття (з розрахунку 9 занять, на кожне 1 бал за роботу на занятті+2 бали за виконання домашнього завдання):
 - «відмінно», творче розкриття питань, вільне володіння матеріалом – 23...27 балів;
 - «добре», глибоке розкриття питань – 18...23 бали;
 - «задовільно», не достатньо повне розкриття питань, достатня робота на практичному занятті – 10...18 балів.
2. Лабораторна робота (з розрахунку виконання 6 лабораторних робіт):
 - за умови гарної роботи (2 бали), правильно оформленого протоколу (1 бал), гарного і своєчасного захисту роботи (3 бали) – $6 \times 3 = 18$ балів;
 - за умови невиконання (зниження) показника хоча б з однієї позиції нараховуються штрафні бали (- 1 бал по кожній позиції)
 - «задовільно», не достатньо повне розкриття питань, достатня робота на практичному занятті – 6...5 балів.
3. Виконання домашньої контрольної роботи.
Практичні заняття (максимум – 15 балів):
 - «відмінно», повне виконання роботи у строк – 13-15 балів;
 - «добре», неповне виконання завдання у строк – 10-13 балів;
 - «задовільно», неповністю виконане завдання, з допущенням неточностей та помилок 10-13 балів;
 - «незадовільно», завдання не виконано, або виконано не в строк.

Заохочувальні і штрафні бали:

	бали
1. Несвоєчасне виконання завдання СРС	-1
2. Не своєчасне виконання лабораторної роботи	-1
3. Не своєчасний захист лабораторної роботи	-1
4. Відсутність на лекції або на практичних заняттях без поважних причин	-2
5. Ведення конспекту лекцій	1...5
Сума заохочувальних і штрафних балів R_s	10

За результатами навчальної роботи за перші 7 тижнів «ідеальний студент» має набрати 26 балів. На першій атестації (8-й тиждень) студент отримує «зараховано», якщо його поточний рейтинг не менше 12 балів.

За результатами 13 тижнів навчання «ідеальний студент» має набрати 31 бал. На другій атестації (14-й тиждень) студент отримує «зараховано», якщо його поточний рейтинг не менше 15.

Максимальна сума балів стартової складової складає 60. Необхідною умовою допуску до екзамену є позитивна оцінка з виконання всіх завдань СРС, захист лабораторних робіт та стартовий рейтинг не менше 30 балів.

На екзамені студенти виконують екзаменаційну роботу. Кожне завдання містить два теоретичних питання і однієї задачі. Перелік питань наведений у додатку до робочої навчальної програми дисципліни. Кожне теоретичне питання оцінюється по 10 балів, а задача – 20 балів.

Додаткове питання з тем лекційного курсу та практичних занять отримують студенти, які не брали участі у роботі певного практичного заняття. Незадовільна відповідь з додаткового питання знижує загальну оцінку на 4 бали.

Кожне питання екзаменаційної роботи оцінюється згідно до системи оцінювання:

- правильне раціональне рішення, або повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) – 18-20 (9-10) балів;
- достатньо повна відповідь, правильне рішення (не менше 70% потрібної інформації, або незначні неточності) – 14-17 (7-8) балів;
- неповна відповідь, рішення з помилками (не менше 60% потрібної інформації та деякі помилки) – 13 (6) балів;
- незадовільна відповідь, або відсутність рішення (менше 60% потрібної інформації та помилки) – менше 12 (5) балів.

Сума стартових балів і балів за екзаменаційну роботу переводиться до екзаменаційної оцінки згідно з таблицею

$R_D = R_C + R_E$	Оцінка ECTS	Визначення оцінки ECTS	Традиційна оцінка
$95 \leq R_D \leq 100$	A - відмінно	відмінно	відмінно
$85 \leq R_D \leq 94$	B – дуже добре	добре	добре
$75 \leq R_D \leq 84$	C - добре		
$65 \leq R_D \leq 74$	D - задовільно	задовільно	задовільно
$60 \leq R_D \leq 64$	E - достатньо		
$R_D \leq 59$	F _x - незадовільно	незадовільно	незадовільно
Не зараховано завдання на СРС, або є не зараховані лабораторні роботи, або $R_C \leq 30$	F – незадовільно (потрібна додаткова робота)	не допущено	

Склав доц. Лещенко Б.Ю. _____

Ухвалено на засіданні кафедри АЕС і ІТФ

Протокол № ____ від _____ 20__ р.

Завідувач кафедри Туз В.О.

ЛІТЕРАТУРА

1. Широков Ю.М. Ядерная физика. Учебник для вузов / Ю.М. Широков, Юдин, Н.П. – М.: Наука, 1980. – 729 с.
2. Абрамов А.И. Основы экспериментальных методов ядерной физики. Учебное пособие для вузов / А.И. Абрамов, Ю.А.Казанский, Е.С.Матусевич. – М.: Атомиздат, 1977. – 525 с.
3. Мухин К.Н. Экспериментальная ядерная физика, т.1: Физика атомного ядра. Учебник для вузов / К.Н. Мухин. – М.: Энергоатомиздат, 1974. – 584 с.
4. Мухин К.Н., Экспериментальная ядерная физика. т.2: Физика элементарных частиц. Учебник для вузов / К.Н. Мухин.– М.: Энергоатомиздат, 1993. – 408 с.
5. Немец О.Ф. Справочник по ядерной физике / О.Ф.Немец, Ю.В.Гофман. – Киев: Наукова думка, 1975. – 415 с.
6. Ядерна та нейтронна фізика: Практикум [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 143 «Атомна енергетика», спеціалізації «Атомні електричні станції» / Б. М. Бондар, Б. Ю. Лещенко ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 0,71 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 24 с.
7. Иванов В. И., Машкович В. И. Центр Э. М. Международная система единиц (СИ) в атомной науке и технике: Справочное руководство. М., Энергоиздат, 1981, 200 с., ил.
8. Таблицы физических величин. Справочник. Под ред. Акад. И.К. Кикоина. М., Атомиздат, 1976, 1008 с.
9. Table of Isotopes CD-ROM
10. Иродов И. Е. Задачи по общей физике: Учебное пособие. – 2-е изд., перераб. – М.: Наука. Гл. ред. физ-мат. Лит., 1988. – 416 с., ил.
11. Ситрус. Робоча навчальна програма з дисципліни «Ядерна та нейтронна фізика»